

LA SITUACIÓN METEOROLÓGICA DEL 30 DE DICIEMBRE DE 2000 EN EL PIRINEO ORIENTAL: ENTRADA BRUSCA DE VIENTOS FUERTES

Ramón Pascual Berghaenel

GPV del CMT en Cataluña. INM

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es mostrar las principales características de la situación de vientos fuertes que afectó Cataluña, y muy especialmente el nordeste de la región, y a consecuencia de la cual se produjeron varios accidentes mortales en los Pirineos. Se han utilizado diferentes tipos de datos pero el análisis fundamental se ha realizado con los registros de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAS) instaladas en la zona de interés. Después de mostrar los hechos más relevantes observados se ha propuesto la aplicación del modelo de corriente de densidad para explicar la intensidad y la evolución temporal del viento y el rápido cambio en las características higrótérmicas de las masas de aire presentes.

1. Introducción

El día 30 de diciembre de 2000 se produjo en Cataluña una situación meteorológica de carácter extremo, caracterizada fundamentalmente por un descenso brusco de las temperaturas y por un aumento repentino, hasta valores huracanados en algunos puntos, de la velocidad del viento. La influencia de la orografía a escala local fue determinante en la evolución de las diferentes variables meteorológicas.

Con más de 24 horas de antelación al suceso se emitieron avisos de fenómenos meteorológicos adversos destinados a los servicios de Protección Civil que hacían referencia al viento muy fuerte que soplaría a partir del mediodía del sábado día 30, y en los boletines generales y específicos de predicción emitidos por los diferentes organismos oficiales se hizo también referencia explícita al fuerte viento y a la bajada de las temperaturas. En la alta montaña, sin embargo, hubo que lamentar una serie de accidentes, concentrados especialmente en el Pirineo Oriental (Comarca del Ripollés), con un balance de 9 víctimas, todas ellas practicando montañismo o esquí de travesía. En este sector pirenaico la máxima altitud es la cima del Puigmal de 2913 m existiendo otras numerosas cimas de más de 2000 m de altitud.

Aunque popularmente se considera el viento de componente norte en esta zona como tramuntana se debe señalar que ni en los estudios del Dr. Fontserè de la primera mitad del siglo XX ni en los trabajos presentados entorno al proyecto PYREX (Campins, Calvo y otros, 1997) se considera que esta zona quede afectada por dicho viento, aunque sí se registre simultáneamente en la costa un viento de características similares a la tramuntana (¿estado de transición a tramuntana estacionaria?).

2. Observaciones

Con el fin de caracterizar el fenómeno se ha realizado en primer lugar un análisis de los datos procedentes de la red de EMAS de que dispone el INM en Cataluña (Figura 1).

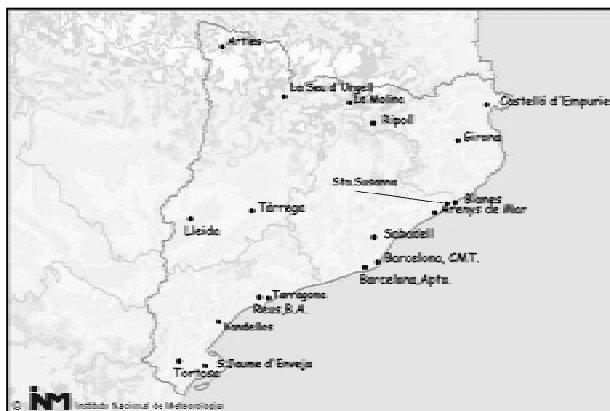


Figura 1: Estaciones meteorológicas automáticas. CMT en Cataluña.

2.1 Viento

Para dar cuenta de la magnitud del temporal y del avance con el tiempo del flujo más fuerte se muestra en la tabla 1 el valor de las rachas máximas y su hora de registro. Las estaciones se han ordenado según dicha hora, viéndose así que hay una buena coherencia regional en su ocurrencia. Todos los valores corresponden al día 30/12/00 y todas las horas son UTC (Válido para el resto del trabajo).

		V	R20	R30	Dirección
Arties (AR):	51 km/h del SW a las 12:10.	11.	11.	-	SW.
Tortosa (TO):	120 km/h del NW a las 13:10.	8.	9.	9.	NW.
Vandellós (VA):	110 km/h del NW a las 13:20.	8.	9.	9.	NW.
La Molina (MO):	62 km/h del NW a las 13:50.	12.	13.	13.	NW.
Reus (RE):	85 km/h del NW a las 14:30.	8.	10.	10.	NW.
Tárrega (TA):	35 km/h del NW a las 15:10.	8.	-	-	W/NW.
Lleida (LL):	68 km/h del NW a las 15:20.	9.	12.	12.	NW.
C. d'Empúries (CE):	83 km/h del NW a las 18:40.	10.	12.	12.	NW.
La Seu d'Urgell (La Seu):	54 km/h del NW a las 19:10.	13.	13.	18.	N.
Ripoll (RI):	84 km/h del NW a las 19:20.	13.	15.	17.	N.
Blanes (BL):	43 km/h del NW a las 21:10.	13.	16.	-	N/NE.
Barcelona (BA):	42 km/h del NW a las 22:30.	9.	22.	-	NW.
Girona (GI):	48 km/h del NW a las 22:20.	9.	19.	-	N/NE.

Tabla 1: Rachas máximas registradas, horas de entrada de los vientos fuertes y direcciones dominantes.

En la tabla 1 se muestran también las horas de “entrada” del viento (paso de calmas a un valor apreciable(V)), y de “entrada” de las rachas máximas superiores a los 20 kts (R20) y a los 30 kts (R30). Se observa, como es habitual, que el viento de mestral (NW en el valle del Ebro, en Tarragona) se establece más pronto que la tramuntana, entre las 8 y las 10 el primero y entre las 10 y las 12 la segunda. En las estaciones del Pirineo central y oriental el viento fuerte se establece posteriormente, entre las 12 y las 14, con un segundo incremento en su fuerza pasadas las 16 en la estaciones situadas en la base de las laderas sur, relacionado éste posiblemente con una amplificación ondulatoria a sotavento debida a la estabilización atmosférica. El flujo fuerte afecta finalmente al litoral y prelitoral centrales.

Otros datos de viento disponibles son los casi 200 km/h de Portbou (EMA del Servei de Meteorologia de Catalunya) y los 120 km/h en L'Estartit (Estación colaboradora del INM) y los valores superiores también a 120 km/h en Cap Bear, estación 07749, unos pocos kilómetros al norte de Portbou. Todas estas estaciones se encuentran en el tercio norte de la costa catalana.

2.2 Temperatura

Se muestra ahora el descenso de la temperatura observado a lo largo del día 30, su magnitud y su ritmo, según la zona. En la figura 2 se resume la evolución de la temperatura en superficie a lo largo de los días 30 y 31. DIF1 es la diferencia entre la temperatura máxima registrada a lo largo del día 30 y la temperatura mínima registrada durante la madrugada del día 31 y DIF2 la diferencia entre la temperatura mínima registrada el día 30 y la temperatura mínima registrada el día 31.

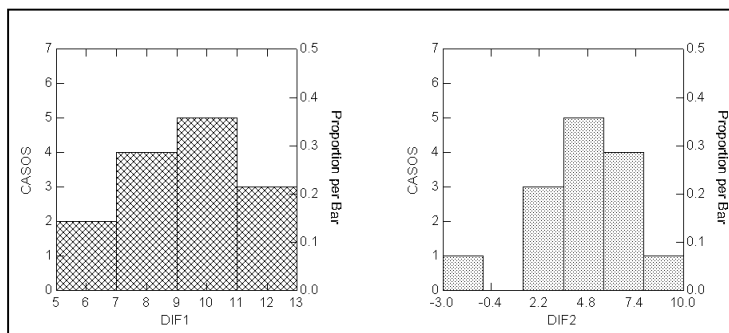


Figura 2: Distribución de los valores de DIF1 y DIF2 entre las EMAS disponibles.

El valor negativo en DIF2 corresponde al aumento temporal de las temperaturas nocturnas en CE debido a la entrada de la tramuntana.

Entre las temperaturas máximas del día 30, registradas entre las 8:50 y las 15:40, y las mínimas siguientes, registradas entre las 2:00 y las 8:40, se produce un descenso de las temperaturas de unos 9 °C en promedio. Obviamente este descenso, importante pero no excepcional, está asociado al ciclo diurno pero también a una advección fría. Tanto en CE como en Tortosa se registran nuevas mínimas a las 23:45 y las 20:40 del día 31, respectivamente, retrasadas respecto a las de otras estaciones debido a la presencia allí de viento fuerte durante la madrugada del 31. Comparando ahora las mínimas de la madrugada del día 30 con las de la del 31, se observa que, excepto en CE, hay un descenso que va de débil en Ripoll a notable en Arties. El enfriamiento en Ripoll está claramente amortiguado debido al carácter relativamente caliente del fuerte viento descendente ladera abajo (*downslope wind*) presente en esta zona.

Se analiza ahora con más detalle la evolución de la temperatura a lo largo de los dos días calculando su variación en las últimas tres horas para cada hora, entre las 8 del día 30 y las 8 del día 31, e identificando así los periodos en los que el descenso ha sido más brusco. Se han agrupado las EMAS en tres grupos: Pirineos y Costa Brava (MO, RI, La Seu, CE), costa y prelitoral (CE, BA, RE), y Lleida (AR, LL, TA).

En el grupo pirenaico se observa que los descensos más bruscos de temperatura se producen en una primera fase en las estaciones situadas a mayor altitud, como MO (1600 m. aprox.). En este punto se registra un descenso de casi 5 grados entre las 12 y las 15. El máximo descenso se produce, tanto en CE como en Ripoll, más tarde y no es tan brusco. A partir de las 19 aprox. los descensos trihorarios de la temperatura disminuyen en valor absoluto para hacerse a partir de las 2 del día 31 prácticamente nulos. A partir de las 3 la temperatura en MO y CE comienza a subir. En La Seu y Ripoll se produce más tarde una nueva bajada de casi 6 °C entre las 5 y las 8 del día 31 en esta última población.

En el grupo de Lleida, Arties muestra los descensos más rápidos, de más de 5 °C entre las 11 y las 14, de manera similar a MO. A diferencia de ésta, sin embargo, se registra un nuevo descenso brusco durante la madrugada del día 31. La bajada de la temperatura tiene un desfase de casi 5 horas en Tàrraga y Lleida con respecto a Arties, manifestándose claramente el efecto de bloqueo pirenaico de la masa fría que proviene del norte.

En el grupo costero no se observa el brusco descenso de la temperatura que se produce en CE al mediodía del 30. En general el descenso en este grupo está amortiguado respecto al de otras zonas. Las curvas de Reus y CE son bastante similares con un cierto desfase en la llegada del máximo de descenso en Reus respecto a la segunda. El comportamiento en Arenys de Mar y Barcelona es bastante más complejo con oscilaciones constantes de la tendencia trihoraria.

2.3 Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es un índice muy dependiente de la temperatura por lo cual es difícil hacer un análisis de las características higrótérmicas de las masas de aire presentes mediante él. Pero en este caso excepcional las curvas de temperatura y HR no tienen su comportamiento habitual, descenso de la temperatura-aumento de la humedad relativa, sino que muestran claramente que la masa de aire que entra por el norte es mucho más seca que la previamente presente, es decir, indican que se produce una disminución de la humedad absoluta.

La humedad relativa cae bruscamente (hasta un 70%) en todas las estaciones, entre las primeras horas de la tarde y la noche o primeras horas de la madrugada del día 31. En promedio los valores finales quedan por debajo del 33%, muy bajos si tenemos en cuenta que este descenso va acompañado de una bajada también importante de la temperatura. Se resumen estos resultados en la tabla 2.

16 EMAS	HR030	HRLIM	HRMIN30
Valor medio y rango de variación	76%; 60%-95%	87%; 72%-100%	35%; 20%-52%

Tabla 2: Evolución de la humedad relativa (HR). HR030: HR a las 00 del día 30. HRLIM: HR en el momento en que comienza a bajar la humedad el día 30. HRMIN30: HR mínima a lo largo del día 30.

En la figura 3 se puede observar la distribución horaria en las 16 EMAS del inicio de la bajada de HR (HRLIM) y la distribución de las horas del mínimo de HR (HHRMIN30).

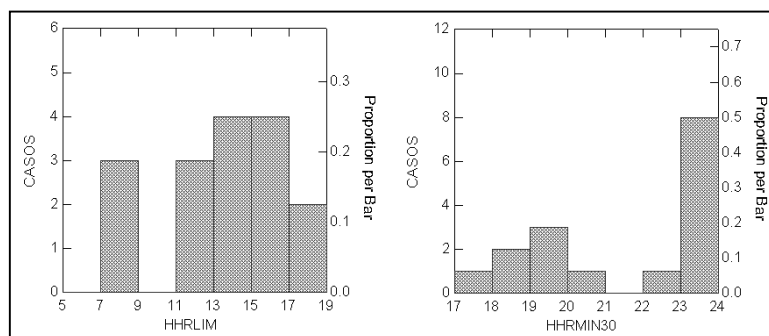


Figura 3: Distribución horaria de HHRLIM y HHRMIN30.

3. Análisis del campo de presión. Observaciones y modelos

El análisis de la presión en superficie muestra una interesante evolución caracterizada por un descenso desde aproximadamente las 18 del día 29 hasta el mediodía del 30, momento en que se registra el mínimo barométrico, y por un posterior aumento, muy brusco, hasta el mediodía del 31. La subida más importante se produce durante la tarde del día 30.

La hora aprox. en la que se registra el mínimo barométrico son las 12 del día 30. El ascenso que se produce en las siguientes 24 horas (según la estación la duración de este ascenso va de 17 a 24 horas) es en valor medio de 22,1 hPa. En promedio la subida tiene un ritmo de 1,04 hPa/h aunque en los periodos de ascenso máximo (sobre un periodo de como mínimo 9 h) llega a ser de 1,8 hPa/h en Tortosa. En Artes se produce un extraordinario ascenso de 9 hPa en 3 horas.

Los análisis de superficie del HIRLAM 0.5° de los días 30 y 31 (Figura 4) muestran el rápido desplazamiento sobre Cataluña de una profunda baja procedente del noroeste de Galicia en dirección al sur de Italia. También se observa una profundización de ésta a lo largo de su recorrido, de 8 hPa en 24h.

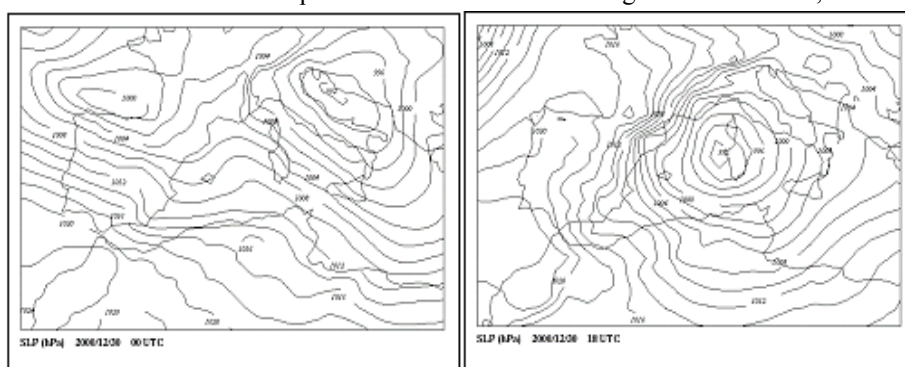


Figura 4: Presión en superficie. 00 UTC (Izq.) y 18 UTC (Der.). 30/12/00. HIRLAM 0.5°. Fuente: Servicio de Modelización Numérica del Tiempo. INM.

La presión media analizada sobre Cataluña baja unos 14 hPa entre las 18 del día 29 y las 6 del 30, es decir, 1,2 hPa/h en este intervalo temporal, y sube unos 24 hPa entre las 6 del día 30 y las 6 del 31, a un ritmo de 2 hPa/h. La principal diferencia entre los valores analizados y los registrados en las EMAS es que el mínimo registrado se sitúa alrededor de las 12 del día 30 mientras que en los análisis aparece a las 6. Como se verá en seguida este desfase entre el mínimo analizado y el observado es consecuencia de la formación de una baja mesoscalar a sotavento del Pirineo, posterior al paso de la baja sinóptica. El gradiente isobárico sinóptico es muy grande sobre el nordeste de la Península pero además es necesario señalar que se produce una deformación de tipo dipolar del campo de presión mesoscalar (Campins, Calvo y otros, 1997).

El análisis mesoscalar de las 9 del día 30 (no presentado aquí) muestra un mínimo barométrico con valores en su interior del orden de 997 hPa sobre la vertiente norte del Pirineo central y otro mínimo al

norte de las Baleares. En Cataluña las presiones están comprendidas entre 999 hPa y 997 hPa. En este análisis la estructura dipolar no está aún formada y el hecho predominante es la distribución sinóptica del campo de presión. El máximo gradiente bórico se observa sobre el País Vasco, el Sistema Ibérico y Valencia quedando Cataluña bajo una zona de calmas.

El análisis mesoscalar de las 12 (Figura 5) tiene un aspecto completamente diferente. Se ha desarrollado un mínimo barométrico sobre el Delta del Ebro, con valores de presión en su interior del orden de 996 hPa. El dipolo no tiene todavía la geometría habitual pues este mínimo se encuentra muy al sur y no se observa el máximo de barlovento del Pirineo. Sí que se forma sobre el eje pirenaico una pequeña dorsal (“nariz de föhn”) creándose entre el mínimo del sur y ésta un gradiente muy importante. Se observa todavía la baja sinóptica al nordeste de las Baleares, con valores inferiores a los 993 hPa en su centro.

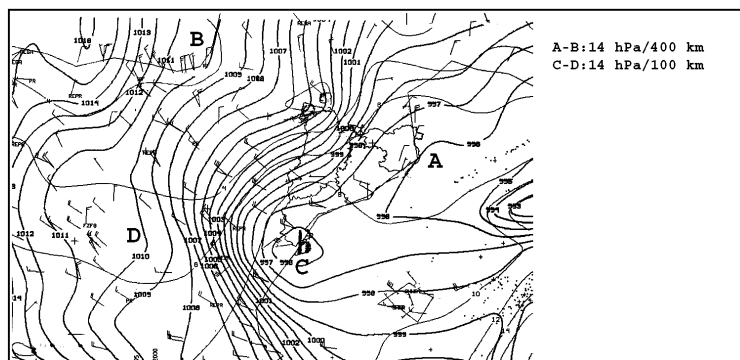


Figura 5: Análisis mesoscalar de presión y viento en superficie. 12 UTC. Fuente: GPV en Cataluña.

En el análisis sinóptico de las 18 (Figura 4) se observa como sigue presente el dipolo sobre Cataluña y que el gradiente bórico es muy fuerte sobre el Pirineo y las tierras del Ebro. En las imágenes IR del Meteosat (no mostradas) se observa la formación a partir de esta hora de la característica nubosidad post-frontal sobre la zona de convergencia catalano-balear. Esta zona se sitúa entre las Baleares y la costa central catalana, y está asociada a las líneas de cizalla de la tramuntana y del mestral. La posición de esta banda es coherente con la llegada retardada de las rachas máximas de viento al litoral central. También se observan en las imágenes las hendiduras que el flujo del norte genera en la espiral nubosa asociada a la depresión que cruza Cataluña.

A las 6 del día 31 la depresión está ya cerca del sur de Italia y casi toda la Península Ibérica está bajo una dorsal con presiones superiores a los 1016 hPa.

La profundización de la depresión está lejos de tener un carácter explosivo según el umbral de 12 hPa/12h (Carlson, 1991) pero los descensos de la presión que se producen en Cataluña superan ampliamente este valor. Esto es consecuencia de (1) la presencia de una dorsal previa sobre el este peninsular, (2) la trayectoria de la baja y (3) la formación del mínimo barométrico de sotavento. Por otro lado el gran aumento de la presión está explicado, al menos en parte, por (1) el alejamiento de la baja sinóptica hacia el este, (2) el acercamiento de la dorsal atlántica y (3) la formación de la dorsal mesoscalar sobre el Pirineo. La formación de dicha dorsal es visible en la EMA de Arties en donde la presión comienza a subir antes que en el resto de EMAS, unos 9 hPa en las primeras tres horas. Sin embargo, las características de este aumento de presión, la entrada brusca del viento y el descenso de temperatura sugieren la entrada de una corriente de densidad mesoscalar.

4. Análisis de la corriente de densidad y de los cambios de masa de aire

A lo largo de la tarde del día 30 y la noche siguiente se produce un importante cambio de masa de aire de tipo frontal, pasándose de una relativamente cálida, húmeda e inestable a otra mucho más fría, seca y estable. Una primera muestra de esto se puede obtener comparando los radiosondeos de Barcelona (UB-SMC) de las 12 del día 30 y de las 00 del 31. En la tabla 5 se muestran los valores de diferentes índices y parámetros pudiéndose ver la gran estabilización que se produce en estas 12 horas y la gran disminución de contenido de vapor de agua ocurrida en todos los niveles. El radiosondeo de las 00 del día 31 (no mostrado), disponible solo hasta unos 450 hPa, muestra una inversión a unos 550 hPa aprox.

Ahora bien la bajada de la temperatura y la humedad se produce bruscamente, junto con un aumento repentino de la presión y de la fuerza del viento. Estos hechos sugieren que el cambio de masa de aire

PARÁMETRO	12 DIA 30/12/00	00 DIA 31/12/00
$K = T(850) + Td(850) - T(500) - DD(700)$	21 (Poco inestable)	-31 (Muy estable)
$TT = T(850) + Td(850) - 2[T(500)]$	49 (Inestable)	24 (Muy estable)
PW (mm)	12.49 (Muy húmedo) (< 150 hPa)	1.77 (Muy seco) (< 450 hPa)
Td (°C) (En superficie)	2	-18.3 (Muy seco)
Θe (K) (En superficie)	299	284
LI (°C) = T(500 del entorno) – T(500 de la burbuja) (Burbuja de superficie)	4 (Estable)	14 (Muy estable)

Tabla 4: Datos del radiosondeo de Barcelona (UB-SMC) de los días 30/12 y 31/12 del 2000. Fuente: WEB del SMC. Índices de estabilidad: K,TT,LI;PW: Agua precipitable en toda la columna;Td: Temperatura del punto de rocío; Θe: Temperatura potencial equivalente.

tiene características de corriente de densidad. Esta corriente se desarrolla entre masas de densidad muy diferente (temperatura y humedad muy diferentes), entre las que se dibuja una frontera muy acentuada. Esta frontera se desplaza hacia el fluido más ligero (Sánchez-Laulhé y Polvorinos, 1999).

En los análisis del HIRLAM de temperatura a 850 hPa de las 6 y las 18 del día 30 (no mostrados) se identifican las zonas donde el gradiente es mayor. Se observa a las 6 como entre el Delta del Ebro y el sur de Francia hay 6 °C de diferencia, con la zona de máximo gradiente sobre Cataluña, al sur del Pirineo. A las 18 esta diferencia es también de 6 °C pero el gradiente máximo se concentra sobre el Pirineo. Este desplazamiento hacia el norte es previo a la verdadera entrada de la corriente de densidad producida a partir de media mañana, y es consecuencia del desarrollo de un pequeño núcleo cálido a sotavento del Pirineo, asociado al mínimo del dipolo orográfico.

A mesoscala los gradientes en 850 hPa o niveles inferiores pueden ser bastante más acusados. Para analizar este hecho se han utilizado nuevamente los datos de las EMAS. Se descubre con ellos un desplazamiento hacia el sur durante el día 30 de una frontera térmica y de humedad orientada de oeste a este y el establecimiento de unas distribuciones más uniformes a primeras horas de la madrugada del día 31. Se destacan a continuación algunos valores correspondientes a las 12 del día 30 (Entre paréntesis aparecen las distancias en línea recta aproximadas entre los dos puntos de referencia). Estos valores son elevados aun teniendo en cuenta la corrección que se debe aplicar por la diferencia de altitudes entre estaciones.

12 UTC: 8 °C de diferencia entre Arties y Lleida (120 km). 4,1 °C entre Ripoll y MO (25 km). 5,2 °C entre Ripoll y Sabadell (70 km). 6 °C entre Reus y Tàrraga (60 km).

El análisis de Td muestra también que tanto a las 12 como a las 18 del día 30 existe un gradiente importante de humedad orientado de norte a sur, que se hace máximo a las 18 y se diluye a las 0 del 31. Se dibuja así una importante frontera de humedad entre el norte y el centro de Cataluña, quedando al margen la zona afectada por el mestrall (valle del Ebro), con valores de humedad también muy bajos.

Se muestran ahora las gráficas de Arties, en el Valle de Arán a aprox. 1100 m de altitud y de CE en el Alt Empordà, zona afectada por la tramuntana, muy cercano al mar (Figura 6). En Arties comienza a bajar la temperatura aprox. a las 10, incrementándose este descenso a las 12 y la humedad empieza a bajar a las 15, desfase lógico debido a la sensibilidad de este índice a la temperatura, pero bajando entonces de un 90% a un 50% en tres horas. El viento del SW entra poco antes de las 12, pasando de prácticamente calmas hasta tener rachas superiores a los 20 kts y con una velocidad media de unos 10 kts hasta las 18. Su dirección en esta EMA está muy condicionada por la orientación del valle, que desvía el viento sinóptico del NW en el SW observado. Es muy importante el salto de la presión atmosférica hacia las 11.

En CE (Figura 6) la bajada de la temperatura se inicia hacia las 11 y la de HR hacia las 14. El viento del NW entra repentinamente a las 11 con mucha fuerza manteniéndose con rachas por encima o del orden de 40 kts el resto del día y la mañana siguiente. Hasta las 11 del día 30 el viento estaba en calma. La presión comienza a subir, también de manera brusca, a partir de las 13.

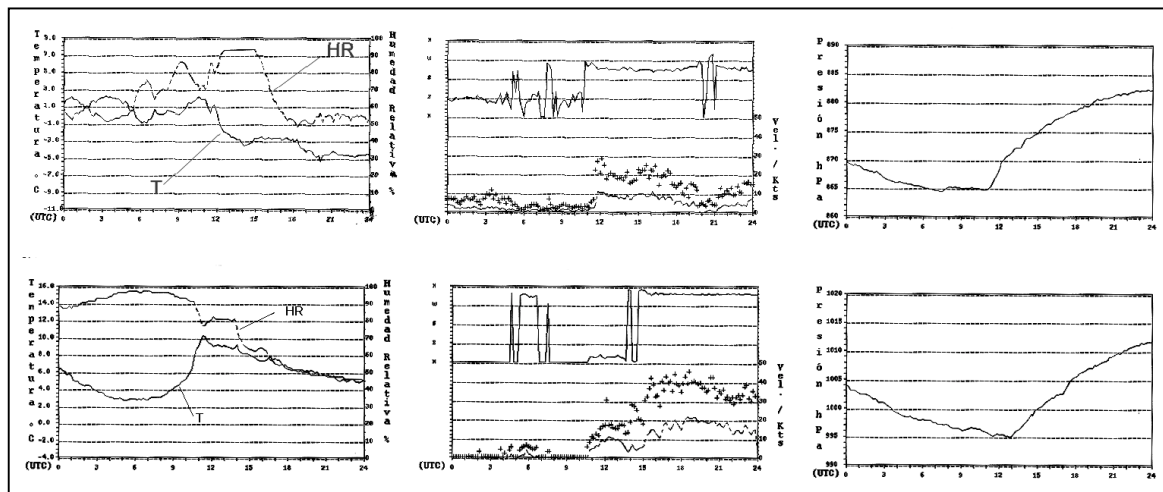


Figura 6: Evolución de la temperatura (T) y humedad relativa (HR) (izq.), velocidad y dirección del viento (centro) y presión atmosférica (der.) en Arties (arriba) y CE (abajo). 30/12/00

El análisis de los radiosondeos disponibles y de los campos de geopotencial en 500 hPa y 850 hPa parecen indicar que hay un máximo relativo de la intensidad del flujo entre las 12 del día 30 y las 12 del 31 por debajo de los 700-800 hPa.

5. Conclusiones

El fuerte flujo del norte observado se genera, no solamente debido a las condiciones sinópticas y mesoscalares del campo dinámico de presión, si no también a los importantes gradientes de densidad entre las masas de aire en juego, asociados a los de temperatura y humedad. A diferencia de otras situaciones en las que el flujo entrante es húmedo (Sánchez-Laulhé y Polvorinos, 1999; Arasti, 2001) y como a igualdad de temperatura una masa seca es más densa que una húmeda, la frontera en esta ocasión es muy acentuada. El flujo es muy ageostrófico y además se desarrolla sobre un terreno de gran complejidad, lo cual introduce canalizaciones y perturbaciones ondulatorias dificultando aún más la predicción local de su fuerza y dirección e incrementando los efectos severos en superficie.

El aumento de la presión responde no solamente a un movimiento de traslación de la baja sinóptica si no también a un efecto hidrostático debido al cambio brusco de las características de la masa de aire. El campo mesoscalar de presión, que condiciona en última instancia la dirección y la velocidad del flujo, viene determinado por el efecto dinámico de la orografía sobre el flujo sinóptico general (dipolo orográfico) y también por el gradiente de densidad presente.

El fenómeno responde, por lo tanto, a una situación de *feedback* positivo e interacción entre escalas (Arasti, 2001) en la que el gradiente de presión inicial (subsínptico) genera un flujo que incrementa este propio gradiente y la velocidad del flujo.

Referencias

- Arasti, E. 2001: Estudio de la galerna típica del Cantábrico. Nota Técnica del CMT en Cantabria y Asturias. Instituto Nacional de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente.
- Sánchez-Laulhé, J. ; Polvorinos, F., 1999: Entradas bruscas de vientos de levante en la costa norte de Alborán. IV Simposio Nacional de Predicción. Memorial "Alfonso Ascaso". Madrid 15-19 Abril 1996. Instituto Nacional de Meteorología.
- Barry R. G., 1981: Mountain weather and climate. Methuen. New York.
- Carlson, T.N., 1991: Mid-latitude weather systems. Harper Collins Academic, New York.
- Campins, J.; Calvo, J.; Jansá, A. 1997: The tramontane wind: Dynamic diagnosis and Hirlam Simulations. INM/WMO International Symposium on cyclones and hazardous weather in the Mediterranean, Mallorca, Spain, April 14-19.